©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Mineralogische und chemische Untersuchungen von lateritischen Rotlehmen aus Nepal

Von H. MÜLLER*

Mit 7 Abbildungen und 2 Tabellen

(Vorgelegt in der Sitzung der mathem.-naturw. Klasse am 5. Februar 1976 durch das w. M. H. FRANZ)

Zusammenfassung

In relikten lateritischen Rotlehmen auf Phyllit wurden Mineralumwandlungen untersucht.

Die Änderung des Mineralbestandes vom Ausgangsgestein bis in den obersten Horizont wurde mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie, Differentialthermo-Analyse, dem Rasterelektronenmikroskop und chemischen Analysen verfolgt.

Als wesentliche Neubildungen entstanden Gibbsit, Hämatit, Goethit und Kaolinit. Im B_{v1}-Horizont zeigt sich eine deutliche Anreicherung vor allem an Gibbsit und Hämatit.

Summary

Mineral formations have been investigated in lateritic soils on phyllite. The change of the mineral assemblage from parent rock to the upper horizont of the soil profile was examined by X-ray, differential-thermoanalysis, scanning and chemical methods. The results show the predominant neoformations of Gibbsite, Hematite, Goethite and Kaolinite. These minerals, especially Gibbsite and Hematite are enriched in the B_{v1}-horizon of this soil profile.

Anschrift des Verfassers:
Dipl.-Ing. Dr. H. MÜLLER, Institut für Bodenforschung und Baugeologie, Universität für Bodenkultur, 1190 Wien, Gregor Mendel-Straße 33.

* Institut für Bodenforschung und Baugeologie, Universität für Bodenkultur Wien, Österreich

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Einleitung

In den letzten Jahren konnten auf dem Gebiete der Bodengenese und der Mineralverwitterung, vor allem durch den Einsatz von modernen Geräten, entscheidende Fortschritte gemacht werden.

An Bodenproben, die mir liebenswürdigerweise Prof. Dr. H. Franz von seinen Nepalreisen mitbrachte, konnte eine Kombination von verschiedenen Untersuchungsmethoden angewandt werden, um eine gesicherte Aussage über die Entstehungsbedingungen dieser ältesten Bodenbildung im Gebiete westlich von Pokhara (Abb. 1) zu erhalten.

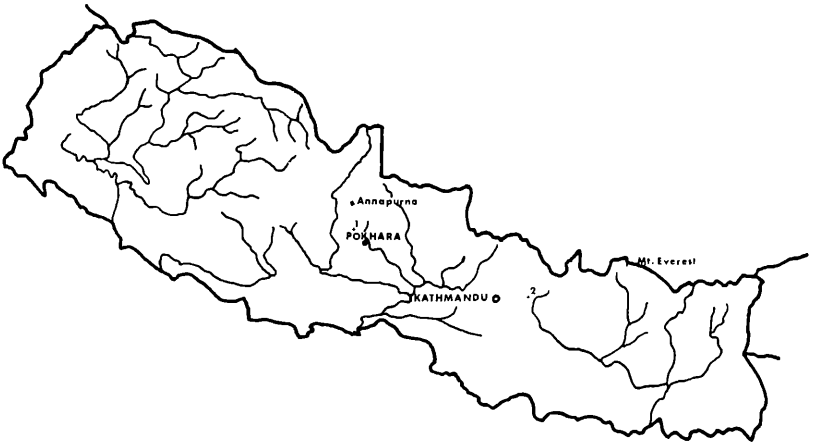

Abb. 1. Übersichtskarte von Nepal mit den Profilpunkten 1 und 2. M 1:4,000.000.

Probenmaterial

Das Profil 1 liegt im Gebiet westlich Pokhara am Weg zum Goropani Paß. Es ist dies ein Höhenrücken von ca. 1800 m Seehöhe unmittelbar westlich Naudanda. Das Rotlehmvorkommen auf Phyllit reicht von Naudanda bis unterhalb Pande nach Westen und stellt den Rest einer alten Landoberfläche dar.

Profilbeschreibung:

A_1 0— 25 cm humoser schluffiger Lehm, ziemlich dicht, aber leicht zerdrückbar, undeutlich krümelig, 5 YR 4/6, allmählich übergehend in

AB_v	25— 60 cm	mehr oder weniger verbraunter Rotlehm, schwach humoser schluffiger Lehm, ohne deutliche Struktur, 5 YR 4/8, übergehend in
B_{v1}	60—120 cm	undeutlich blockig, dichter, aber leicht zerdrückbarer (feucht)schluffig toniger Lehm, intensiv rot, 2,5 YR 4/8, übergehend in
B_{v2}	120—200 cm	nach unten zunehmend von aufgemürbten Phyllitbrocken durchsetzt, 2,5 YR 5/8, nach unten heller werdend.
C_v	200— cm	Gesteinszersatz rasch in C_n übergehend, 2,5 YR 5/6.
C_v^+		Vergleichsprobe aus der Zersatzzone eines Rotlehmprofiles in einem Hohlweg bei Dhare Gunda. 2,5 YR 5/8.

Das Profil 2 befindet sich auf einem flachen Rücken bei Diuli Khel in 1400 m Seehöhe auf paläozoischen Phylliten. Von dieser Stelle wurde nur eine Probe aus 30 bis 40 cm Tiefe orientierend untersucht.

Untersuchungsmethoden

1. Röntgendiffraktometer-Analysen

Zur Bestimmung des Gesamtmineralgehaltes der einzelnen Proben wurden diese gemahlen und das Gesteinspulver röntgendiffraktometrisch untersucht. Für die Bestimmung der Fraktion $<2\mu$ wurden die Proben mit H_2O_2 aufbereitet und orientierte Präparate auf Diaphragmaplättchen hergestellt, nachdem die Tonsuspensionen mit K^+ und Mg^{++} belegt wurden. Für den Kaolinitnachweis wurden die Proben 1 Tag bei 80° C und 1 Woche bei 40° C mit DMSO (Dimethylsulfoxid) behandelt (Garcia, Camazano, 1968). Für die Untersuchungen stand ein vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung in Österreich (Projekt Nr. 1613 und Projekt Nr. 1286) gestiftetes Gerät zur Verfügung. Die Aufnahmen erfolgten an einer Philips Apparatur mit CuKa Strahlung, einer Winkelgeschwindigkeit von ½° min., KV 40, mA 20 und Nickelfilter.

2. Differentialthermo-Analysen

Die Fraktion $<20\mu$ wurde in Platinhülsen bis zu einer Endtemperatur von 1100° C und einer Aufheizgeschwindigkeit von 10° min. mit einer Netsch-DTA-Apparatur untersucht. Als Inertsubstanz diente gebrannter Kaolinit.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

3. Chemische Analysen

Für die Erfassung der einzelnen Elemente und deren Bindungsformen wurde eine fraktionierte Extraktion durchgeführt. 10 g lufttrockene Probe wurde nacheinander in 6 verschiedenen Lösungsmitteln geschüttelt und zentrifugiert:

a) wasserlösliche Kationen
b) austauschbare Kationen mit 1 n Ammoniumazetat
c) indizierende Sesquioxide mit 0,5 n H_2SO_4 (Husz und Solar, 1966)
d) amorphe Sesquioxide mit Tammscher Lösung (Schwertmann, 1964)
e) gesamtfreies Al und Si mit 0,5 n NaOH (Foster, 1953)
f) gesamtfreies Fe und Mn mit Na-Dithionit und Na-Citrat (Mehra u. Jackson, 1960)

4. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

Bruchflächen von ungestörten Bodenproben wurden mit dem Rasterelektronenmikroskop Stereoscan S 4 untersucht*. Die Mineralidentifizierung konnte mit Hilfe von chemischen Mikroanalysen, die mit einem energiedispersiven Röntgenspektrometer (Edax) durchgeführt wurden, wesentlich unterstützt werden.

Ergebnisse der Röntgendiffraktometer- und Differentialthermo-Analysen

Die röntgenographischen Untersuchungen wurden sowohl am Gesamtmaterial als auch an der Fraktion $<2\mu$ durchgeführt (Tab. 1).

Für die Fraktion $<2\mu$ ergab sich im Profil 1 folgender Mineralbestand (Abb. 2):

Quarz ist im gesamten Profil in gleichen Mengen vorhanden, nur im B_{v1}-Horizont fehlt er. Die Glimmerminerale nehmen in den obersten Horizonten ab, während der Chlorit im Profil nur in Spuren vertreten ist und im B_{v1}-Horizont ganz fehlt. An Mineralneubildungen ist vor allem der Gibbsit vorherrschend. Das Maximum liegt im B_{v1}-Horizont. Goethit konnte in geringen Mengen in den Horizonten AB_v, B_{v1} und B_{v2} nachgewiesen werden. Hämatit ist als Nebengemengteil im A_1- und B_{v1}-Horizont vorhanden. In den Horizonten AB_v und C_v kommt Hämatit nur in Spuren vor.

* Das Gerät wurde aus Mitteln des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung in Österreich, Projekt 1617, zur Verfügung gestellt.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

		QUARZ	GLIMMER	CHLORIT	GIBBSIT	GOETHIT	HÄMATIT	KAOLINIT
Prof.1	A_1	○○ □□□	○○ □□□	○ □	○○○ □		○	○
	AB_v	○○ □□□	○○ □□□	○	○○○ □	○	○	○
	B_{v1}	□□□	○○○ □□□□		○○○○ □□□	○	○○	○
	B_{v2}	○○ □□□	○○○ □□□□	○ □□□	○○○ □□	○		○
	C_v	○○ □□□□	○○○ □□□□	○ □	○○○ □□		○	○
	C_v^+	○○ □□□	○○○○ □□□□	○○ □□□	○○ □		○	○
Prof.2	AB_v	□□□□	□□		□□			□

Tab. 1. Semiquantitative Auswertung der Röntgendiffraktometeranalysen. ○ Fraktion $< 2\,\mu$, □ Gesamtprobe.

In den Diffraktogrammen des Gesamtmaterials überwiegt erwartungsgemäß der Primärmineralbestand. Gibbsit konnte auch hier, vor allem aber im B_{v1}-Horizont, nachgewiesen werden. Die Vergleichsproben von Dhare Gunda und Diuli Khel stimmen mit diesen Ergebnissen gut überein.

Die Differentialthermo-Analysen bestätigen im wesentlichen die oben gemachten Aussagen. Die endothermen Reaktionen im Bereich von 100 bis 120° C entsprechen der Abgabe des Adsorptionswassers von Illit, Gibbsit und der im obersten Horizont vorhandenen organischen Substanz. Ein starker endothermer Peak bei 320 bis 330° C ist dem Gibbsit zuzuordnen, wobei die Ab-

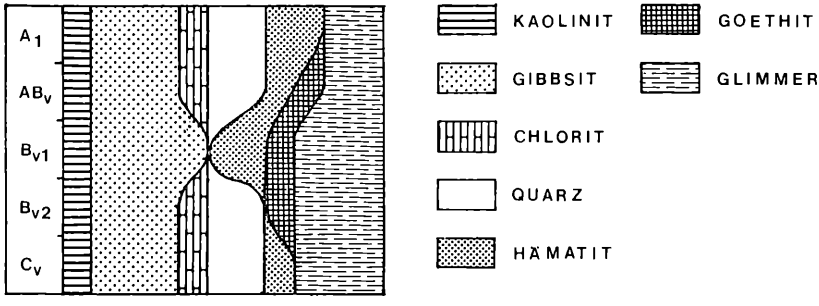

Abb. 2. Relativverhältnisse der Mineralkomponenten der Fraktion $< 2\,\mu$ im Profil 1.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

spaltung des Kristallwassers erfolgt (MACKENZIE R. C., 1957). Durch die Anwesenheit von Illit und Quarz kommt es im Bereich von 530 bis 580° C zu weiteren endothermen Reaktionen.

Chemische Untersuchungen

Es wurde an den einzelnen Proben eine fraktionierte Extraktion durchgeführt, um eine bessere Aussage sowohl über die Bindungsintensitäten als auch über Zufuhr und Abfuhr der einzelnen Ionen machen zu können. Wenn man von der Voraussetzung ausgeht, daß es sich hier um ein autochthones Verwitterungsprofil auf Phyllit handelt, wobei die Mineralzusammensetzung bekannt ist, so läßt sich in den Horizonten das Verhalten der einzelnen Ionen verfolgen.

Si_{NaOH} Durch die Extraktion mit 0,5 n NaOH wird die leicht reaktionsfähige Kieselsäure bestimmt. Dabei handelt es sich vorwiegend um die amorphe Kieselsäure. Es werden aber auch Allophane, Feldspäte und Tonminerale angegriffen. Die Si-Werte liegen im C_v-Horizont am niedrigsten und steigen im B_{v2}-Horizont sprunghaft auf 1045 mg/100 g an. Sie bleiben dann im B_{v1} und AB_v konstant und sinken im A_1-Horizont auf 640 mg/100 g ab. Das durch die Verwitterung der Primärminerale in Lösung gegangene Si wird einerseits als amorphe Kieselsäure angelagert und zum Teil zur Bildung von Kaolinit verwendet. Da es aber vor allem im B_{v1}-Horizont zu einer Anreicherung von Gibbsit kommt, müßte hier ein Großteil des Si abgeführt worden sein.

Al_{NaOH} Die im 0,5 n NaOH-Auszug bestimmten Al-Werte liegen im B_{v1}-Horizont mit 157,2 mg/100 g am niedrigsten und im A_1-Horizont mit 862,4 mg/100 g am höchsten. Diese Ergebnisse stimmen gut mit der semiquantitativen Auswertung der Röntgendiffraktometer-Analyse zusammen.
Im B_{v1}-Horizont ist das Auftreten von Gibbsit vorherrschend und nimmt nach oben hin ab, während die amorphen Al-Verbindungen nach oben zunehmen.

Mn_d Im Na-Dithionitauszug lassen die Mn-Werte in allen Horizonten keine großen Unterschiede erkennen. Sie liegen zwischen 240 und 281 mg/100 g.

Fe_d Die Gehalte an dithionitlöslichem Eisen schwanken im Profil zwischen etwa 4.600 und 7.000 mg/100 g Boden. Der höchste Wert tritt im A_1-Horizont auf. Die niedrigsten Werte zeigen die Horizonte B_{v1} und C_v.

Fe_0 Die Werte liegen zwischen 416 und 3.500 g/100 g Boden. Im Profil ist eine deutliche Abnahme der Fe_0-Gehalte von oben nach unten festzustellen.

Ca Kalzium ist im Ausgangsgestein nur sehr wenig in den Feldspäten vorhanden. Es zeigt sich im B_v-Horizont sowohl im H_2O-Auszug als auch im Ammoniumacetat-Auszug ein Minimum und ein Maximum im A_1-Horizont. Es dürfte sich einerseits um einen Abtransport von Ca im B_v-Horizont und andererseits um eine Anreicherung aus dem Bestandesabfall der Vegetation im Humushorizont handeln.

Na, K Beide Ionen verhalten sich im Verlaufe des Profiles ähnlich. Im H_2O-Auszug findet sich ein Minimum im B_{v2}-Horizont, während beide Ionen am Sorptionskomplex des A-Horizontes ein Maximum zeigen.

Mg Auch hier ist von oben nach unten bis in den B_{v2}-Horizont sowohl im H_2O-Auszug als auch im Ammoniumacetat-Auszug eine Abnahme festzustellen. Im C_v-Horizont ist aber ein Maximum von 9,4 mg/100 g am Sorptionskomplex bestimmt worden. Dies erklärt sich aus dem Vorhandensein von Glimmermineralen und vor allem Chlorit, die ja auch als Lieferanten des Mg angesehen werden können.

Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

Die Untersuchungen einer Probe aus dem Gesteinszersatz im Profil 1 zeigen sehr deutlich die Bildung von Sekundärmineralen. In Abb. 4 sind auf Glimmerplättchen gut ausgebildete pseudohexagonale prismatische Gibbsitkristalle angereichert. In den Analysen mit dem EDAX-System konnte nur Al nachgewiesen werden. Zwischen den einzelnen Schichtpaketen des Glimmers sitzen Gibbsitkristalle, die die Hohlräume größtenteils ausfüllen (Abb. 5).

Auf Krustenbildungen, die zum Teil die Primärminerale einhüllen, findet sich neben Gibbsit auch Hämatit (Abb. 6). Hier

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

		Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al	Si
A_1	H_2O	0,18	0,30	0,75	0,33	—	0,03	0,28	5,0
	Amm.	2,70	5,20	43,0	5,30	—	16,10	2,22	
	H_2SO_4				5,30	4,4	776,10	688,0	
	Tamm.				7,30	21,40	3496,10	693,60	
	NaOH							862,40	640,0
	Dith.					281,40	7096,10		
AB_V	H_2O	0,30	0,30	0,30	0,18	—	0,03	0,18	1,25
	Amm.	—	5,0	41,00	4,70	—	16,10	1,54	
	H_2SO_4				—	2,8	576,10	288,0	
	Tamm.					9,8	2176,10	292,8	
	NaOH							427,2	1045,0
	Dith.					249,8	5936,10		
B_{V1}	H_2O	0,03	0,02	0,38	0,18	—	0,03	0,09	1,5
	Amm.	—	—	33,5	4,70	—	16,10	0,62	
	H_2SO_4				—	—	336,10	68,0	
	Tamm.					—	592,10	73,2	
	NaOH							157,2	1026,0
	Dith.					240,0	4672,1		
B_{V2}	H_2O	0,03	0,18	0,15	0,13	—	0,03	0,14	1,25
	Amm.	—	—	—	1,30	—	8,10	1,04	
	H_2SO_4				—	—	1169,0	172,0	
	Tamm.					—	1969,0	176,8	
	NaOH							272,8	1045,0
	Dith.					240,0	580,90		
C_V	H_2O	0,38	0,35	0,03	0,35	—	0,5	0,03	0,3
	Amm.	—	—	33,0	9,40	0,8	8,1	0,03	
	H_2SO_4				—	2,4	204,2	226,03	
	Tamm.				12,60	4,4	416,2		
	NaOH							229,7	61,0
	Dith.					276,4	4656,2		

Tab. 2. Fraktionierte Auszüge. Profil 1. Die Werte entsprechen mg/100 g Boden.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

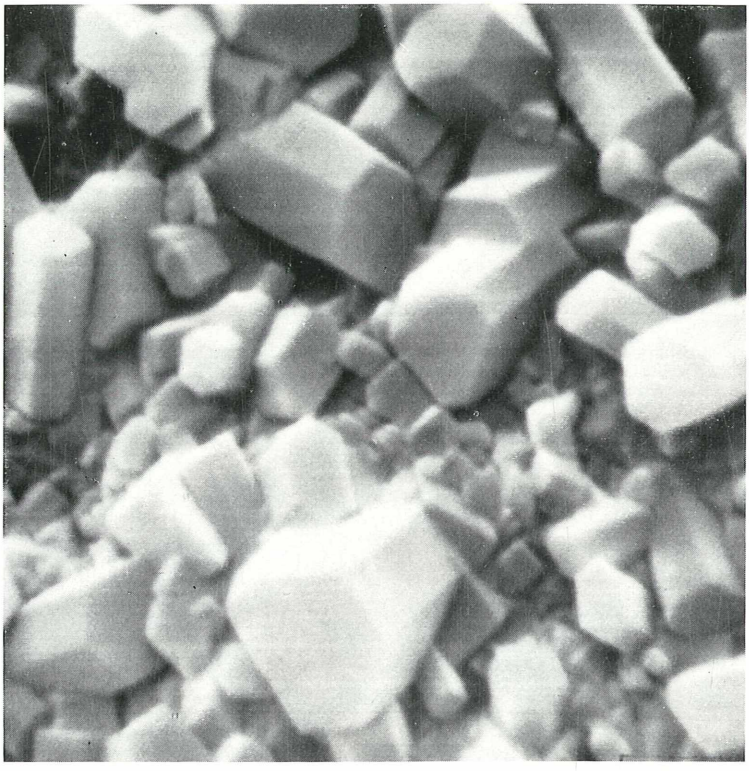

Abb. 3. Pseudohexagonale prismatische Gibbsitkristalle im C_V-Horizont. Vergr. 12.000.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

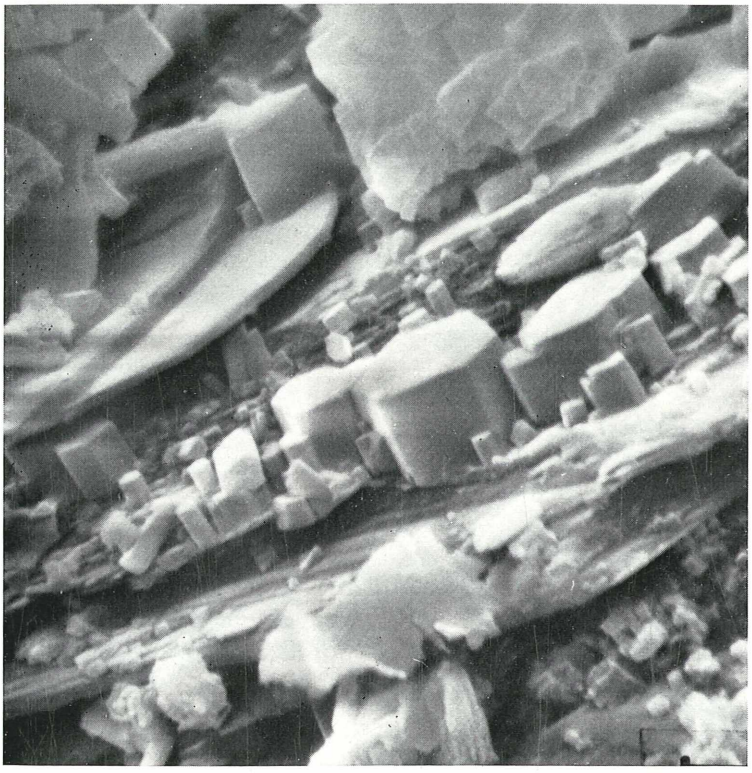

Abb. 4. Gibbsitkristalle auf Glimmerplättchen aufsitzend. Vergr. 12.000.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

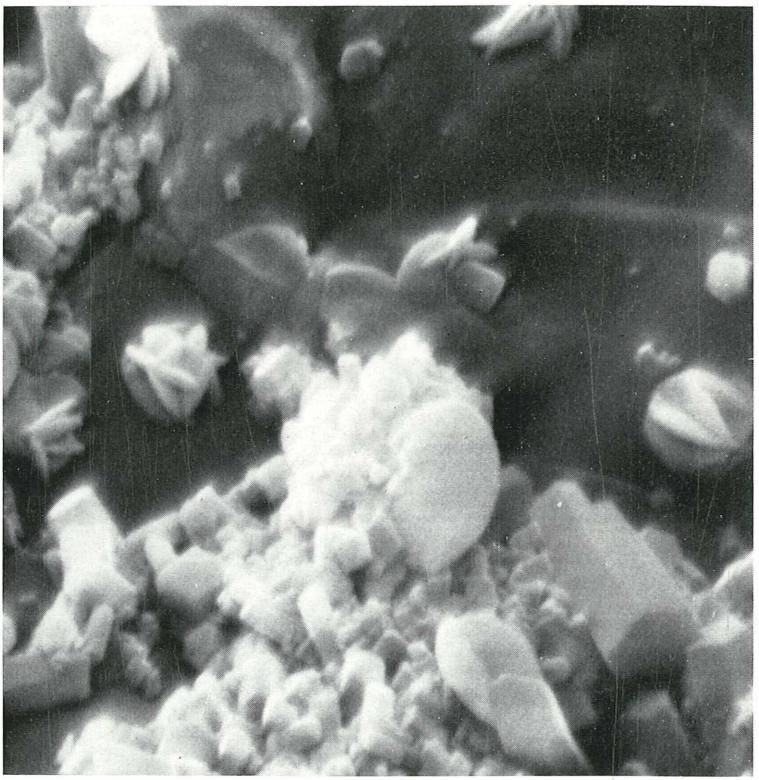

Abb. 5. Neben Gibbsitkristallen sind auch rosettenförmig verwachsene Hämatitkristalle ausgebildet. Vergr. 12.000.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

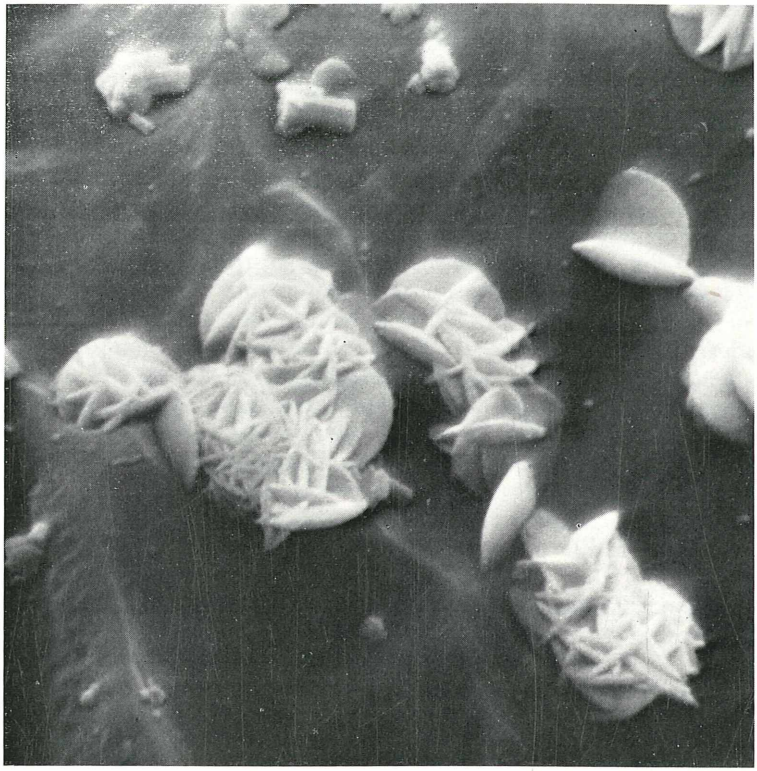

Abb. 6. Hämatitkristalle auf der verkrusteten Oberfläche eines Glimmerplättchen aufsitzend. Vergr. 12.000.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

konnte mit Hilfe des energiedispersiven Systems Fe eindeutig nachgewiesen werden. Die Hämatitkristalle sind linsenförmig ausgebildet und können rosettenartig miteinander verwachsen sein (Abb. 7). Dieser Habitus ist kennzeichnend für niedrig temperierte Bildungsbedingungen.

Diskussion der Ergebnisse

Die zur Untersuchung gelangten Böden sind von ihrer geomorphologischen Stellung am Rande des Katmandu-Beckens (FRANZ 1976) als relikte Bodenbildungen anzusehen. Infolge der intensiven chemischen Verwitterung müssen diese Böden in einer Zeit entstanden sein, die sich klimatisch wesentlich von den heutigen Bedingungen unterscheidet. Durch die chemische Verwitterung unter subtropischen Klimabedingungen mit großen Niederschlagswerten und hoher durchschnittlicher Jahrestemperatur kommt es zu einer Abfuhr von Na, K, Ca und Mg aus den Primärmineralen. Bei einem pH-Wert, der im Profil 1 zwischen 4,3 und 4,7 liegt, ist Al nicht und Si nur in geringem Ausmaß mobil. So kann es durch ein Überangebot an Al beim Verwitterungsprozeß zur Gibbsitbildung kommen (DUCHAUFOUR 1972). Dies ist aber nur dann möglich, wenn der Boden eine gute Drainage aufweist, so daß mobile Kationen und Anionen einschließlich Silicium mit dem Sickerwasser abgeführt werden können (MILLOT 1970). Ein Teil der frei werdenden Kieselsäure führt dann noch zur Bildung von Kaolinit.

Boehmit kommt manchmal mit Gibbsit vergesellschaftet in lateritischen Verwitterungsprofilen vor, konnte aber hier nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden.

Das Eisen, welches im unverwitterten Phyllit vor allem in Chloritmineralen und vereinzelt auftretenden Biotiten im Kristallgitter gebunden ist, wird beim Verwitterungsvorgang oxidiert und liegt einerseits in Form amorpher Fe-Oxide und Hydroxide, andererseits kristallin als Hämatit und Goethit vor. Aus Abb. 3 ist die Löslichkeit der einzelnen Eisenfraktionen bei stärker werdendem Extraktionsmittel ersichtlich. Die Fe_0/Fe_d-Quotienten (Abb. 3), die als Maß für den Alterungsgrad der Eisenoxide (Aktivitätsgrad) in Böden dienen können (SCHWERTMANN et al. 1968), nehmen im Profil von oben nach unten ab.

Im B_{v1}-Horizont wird durch den geringen Aktivitätsgrad von 0,12 die Zone der intensivsten Verwitterung angezeigt. Dadurch ergibt sich ein Ansteigen der kristallinen Eisenoxide. Auch

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

die Gibbsitneubildung zeigt in diesem Horizont ein Maximum. Demnach sind offenbar im B_{v1}-Horizont für die Entstehung von

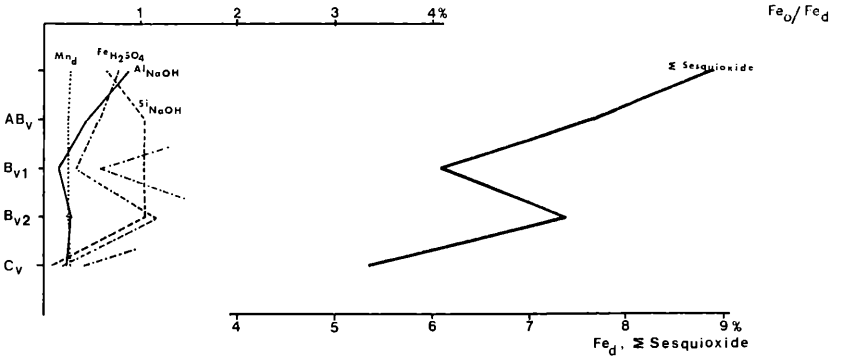

Abb. 7. Verteilung der Sesquioxide im Profil 1.

Sekundärmineralen optimale Bedingungen gegeben. Die Abnahme des Aktivitätsgrades von oben nach unten kann hier zum Teil einer Kristallisationshemmung in den obersten Horizonten durch organische Substanzen zugeschrieben werden (Blume und Schwertmann 1969).

Literatur

Duchaufour, Ph.: Processus de formation des sols; Biochemie et Geochemie. Académie de Nancy-Metz, 1972.

Foster, M. D.: Geochemical studies of clay minerals, III. The determination of free silica and free alumina in montmorillonites. Geochem. Cosmochim. Acta, 3, 143—154, 1953.

Franz, H.: Beiträge zur Kenntnis der Bodenlandschaften Nepals. Sitzungsberichte der Österr. Akademie der Wissenschaften, mathem.-naturw. Kl., Abt. I, 1976.

Garcia, G. S. u. Camazano, M. S.: Differentiation of Kaolinite from Chlorite by treatment with Dimethyl-Sulphoxide. Clay Minerals 7, 447—450, 1968.

Husz, G. u. Solar, F.: Beiträge zur Kenntnis der Pseudogleydynamik. Die Bodenkultur 17, 95—128, 1966.

Mackenzie, R. C.: The differential thermal investigation of clays. Mineralogical Society, London, 1957.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

MEHRA, O. P. u. JACKSON, M. L.: Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays and Clay Min. 7th Conf., 317—327, 1960.

MILLOT, G.: Geology of clays. Springer Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 1970.

SCHWERTMANN, U. u. LENTZE, W.: Bodenfarbe und Eisenoxydform. Zeitschrift f. Pflanz. u. Bodenk. 115, 209—214, 1966.

SCHWERTMANN, U., FISCHER, W. R. u. PAPENDORF, H.: The influence of organic compounds on the formation of iron oxides. 9th Int. Congr. Soil Sci. Trans. 1, Adelaide, 645—655, 1968.